

# CONSIDERACIÓN DE LAS DEFORMACIONES POR RETRACCIÓN Y FLUENCIA EN EL ESTUDIO DEL FENÓMENO DE INTERACCIÓN VÍA-TABLERO EN EL PROYECTO DE PUENTES FERROVIARIOS

## CONSIDERATION OF SHRINKAGE AND CREEP IN THE STUDY OF TRACK-DECK INTERACTION IN RAILWAY BRIDGE DESIGN

MANUEL CUADRADO SANGUINO. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Prointec, S.A. mcuadrado@caminos.recol.es

PEDRO GONZÁLEZ REQUEJO. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Prointec, S.A.

**RESUMEN:** En el análisis de la interacción vía-tablero en puentes ferroviarios, es necesario considerar todas aquellas acciones que produzcan deformaciones longitudinales en la cara superior del tablero.

La "Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril", cita la retracción y la fluencia como acciones a tener en cuenta, pero no especifica cómo considerarlas en el cálculo.

Este artículo presenta las consideraciones de los autores sobre la forma adecuada de considerar la superposición de la retracción y fluencia del tablero al resto de acciones, ilustradas con ejemplos de los resultados obtenidos gracias a la aplicación de un modelo numérico.

**PALABRAS CLAVE:** VÍA, PUENTE FERROVIARIO, INTERACCIÓN, RETRACCIÓN Y FLUENCIA

**ABSTRACT:** When studying track-deck interaction in railway bridges it is necessary to consider all actions leading to longitudinal deformation in the upper face of the deck.

The "Code on actions to be considered in the design of railway bridges" refers to shrinkage and creep as actions to be taken into account, but does not specify how these should be considered in the design calculations.

In this article the authors provide certain criteria regarding the correct means of considering the shrinkage and creep of the deck with respect to the other actions. This method is illustrated by examples of the results obtained after application to a numerical model.

**KEYWORDS:** TRACK, BRIDGE, RAILWAY, INTERACTION, SHRINKAGE AND CREEP

### 0. INTRODUCCIÓN

Las acciones de cálculo a tener en cuenta en el análisis de interacción carril-tablero en puente ferroviarios están establecidas en la ficha UIC 774-3 [1]. Dichas acciones son:

- a) variación de temperatura de tablero y carril;
- b) fuerzas de frenado y arranque;
- c) flexión del tablero.

En la IAPF [2] se cita entre otras acciones a considerar los fenómenos de retracción y fluencia en el tablero, sin precisar el modo de incluirlos en los cálculos.

Las deformaciones totales del tablero por retracción y fluencia pueden ser muy importantes (del orden de  $\epsilon \sim 10^{-3}$ , equivalente a una deformación debida a un descenso de temperatura del tablero de 100 °C), aunque decrecen rápidamente con el tiempo, parece imprescindible tenerlas en cuenta, como acción generadora de tensiones en el carril y desplazamientos relativos entre carril y tablero.

A continuación se desarrolla el procedimiento propuesto por los autores para la consideración de esta acción, y la forma de combinarla con el resto de las acciones en las situaciones pésimas para el carril.

Se admiten comentarios a este artículo, que deberán ser remitidos a la Redacción de la ROP antes del 30 de julio de 2004.

Recibido: mayo/2004. Aprobado: mayo/2004.

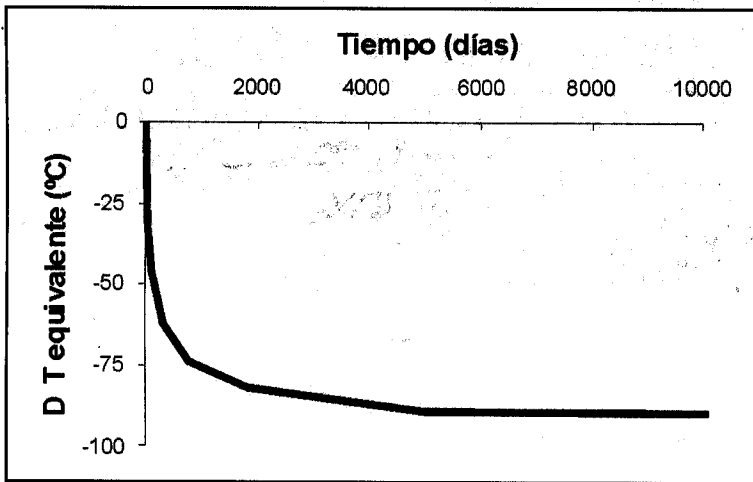


Fig. 1. Curva de decremento de temperatura equivalente a la deformación por retracción y fluencia.

## 1. ACCIONES DE CÁLCULO

### a) Variación de temperatura de tablero y carril

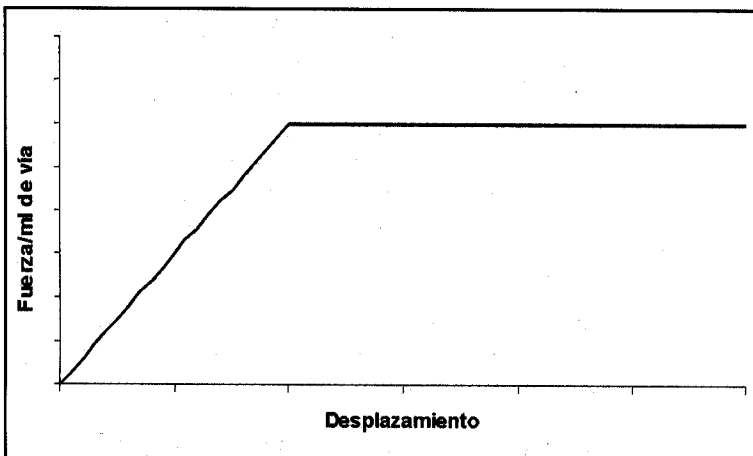
Siguiendo las especificaciones de la IAPF [2], la variación de temperatura en el tablero  $\Delta T_t$  a considerar viene determinada en función de la tipología del tablero y la zona climática, pero no superará para el estudio de interacción el valor de  $\pm 35^\circ\text{C}$ . La variación de temperatura del carril  $\Delta T_c$  no superará los  $\pm 50^\circ\text{C}$ , y la diferencia entre esta variación  $\Delta T_c$  y la del tablero  $\Delta T_t$  está además limitada a  $20^\circ\text{C}$ .

Es necesario señalar que, en ausencia de aparato de dilatación, la variación de temperatura en el carril no produce movimientos relativos entre el carril y el tablero o la plataforma, siendo únicamente necesario considerar la variación de la temperatura del tablero.

### b) Fuerzas de frenado y arranque

Las fuerzas horizontales de frenado y arranque están definidas en la IAPF [2] y corresponden a las estableci-

Fig. 2. Ley bilineal de comportamiento de la unión carril - tablero o carril - plataforma.



das en la ficha UIC 774-3 [1] afectadas del coeficiente de clasificación ( $\alpha=1,21$ , para ancho RENFE y ancho UIC).

Estas acciones de frenado y arranque deben suponerse aplicadas sobre el carril, debiéndose estudiar las diferentes posiciones de(los) tren(es) para determinar la situación más desfavorable. En el caso de puente con doble vía, la acción de frenado en una vía se combina con la de arranque en la otra. En caso de puente con más de dos vías, sólo se considera dos vías cargadas.

### c) Flexión del tablero

Los esfuerzos en carril y desplazamientos debidos a la flexión del tablero deben establecerse a partir de las cargas verticales de tráfico. Para la evaluación de los efectos por flexión del tablero la IAPF [2] pide que se consideren las sobrecargas de uso (cargas de tráfico), lo que supone considerar el tren de cargas UIC 71, afectado por el coeficiente de clasificación ( $\alpha=1,21$ ).

La ficha UIC 774-3 [1] pide que se consideren las cargas de tráfico UIC 71, sin embargo deja entender (por las hipótesis de carga adoptadas en los ejemplos de aplicación) que puede admitirse la simplificación de adoptar un tren de cargas de 300 m de longitud y con una carga uniforme de  $80\text{ kN/m}$ .

### d) Retracción y fluencia

La curva de deformaciones debidas a los efectos conjuntos de la retracción y la fluencia se calculan siguiendo las indicaciones de la EHE. Esta curva se puede representar en términos de decremento de temperatura equivalente:  $\Delta T_{eq} = \epsilon_{rf} / \alpha$ . (Fig. 1).

## 2. COMBINACIÓN DE ACCIONES

La combinación de acciones a considerar varía en función de cada una de las comprobaciones (en tensiones o en desplazamientos) que es necesario realizar. Aunque las consideraciones de este artículo se centran en el cálculo de tensiones en carril, éstas son extensibles al cálculo de desplazamientos.

La ley que rige la interacción entre vía y carril es una ley bilineal. (Fig. 2).

La combinación lineal de esfuerzos y deformaciones resultantes del cálculo independiente de cada acción elemental (temperatura, frenado/arranque, flexión, retracción y fluencia) no es correcta, ya que, debido a esta ley de comportamiento de la unión entre la vía y el tablero o plataforma, el modelo de interacción carril-tablero no es un modelo lineal.

Por otro lado, esta ley varía dependiendo de la condición de vía cargada o descargada, y por tanto en función de la posición del tren de cargas, lo cual complica enormemente un cálculo no lineal paso a paso, que sería la aproximación más realista.

No obstante, la ficha UIC 774-3 [1] admite la combinación de los resultados obtenidos en el análisis independiente de cada acción elemental (con frenado/arranque y flexión de tablero concomitantes) como simplificación de un cálculo no lineal paso a paso. Los coeficientes de ponderación son 1 para cualquiera de las acciones consideradas. Sin embargo, si se incluyen los efectos de la retracción y fluencia, esta simplificación resulta excesivamente conservadora, como se verá en el ejemplo de aplicación del punto 3.

El método que se propone en el presente artículo es una mejora del método simplificado de superposición lineal propuesto por la ficha UIC 774-3 [1]. Se basa en el estudio de las situaciones pésimas para el carril, y el cálculo más aproximado posible de las tensiones en carril en esas situaciones.

En efecto, el análisis que derivaría de una aplicación del método simplificado de la ficha conduciría a considerar la superposición de las siguientes acciones:

- Variación de temperatura del tablero y carril: se consideran las variaciones de temperatura de tablero y carril que establece la IAPF [2],
- Frenado/arranque y flexión: se considera el efecto de estas dos acciones conjuntas en el modelo no lineal, suponiendo en primer lugar la acción de la carga vertical, y sobre la situación deformada del viaducto la acción de las fuerzas horizontales de frenado/arranque. Este cálculo se realizará para las posiciones del tren pésimas;
- Efectos de retracción y fluencia: Se considera el efecto de la retracción del tablero a partir del momento de la soldadura del carril largo continuo, asimilando esta deformación a un decremento de temperatura del tablero equivalente.

El método mejorado propuesto consiste en estudiar las situaciones pésimas que pueden producirse.

En el caso de no existir aparato de dilatación no se consideran las variaciones de temperatura del carril, como se ha comentado anteriormente, y las situaciones pésimas son dos:

#### **Situación 1: . Las acciones a considerar son:**

- Incremento de temperatura del tablero: se supone que se puede desarrollar el incremento máximo de temperatura anual indicado por el BIAPF [2], partiendo de la hi-

pótesis pesimista de que en el momento de la soldadura del carril el tablero se encuentra a la temperatura más baja del año.

- Frenado/arranque y flexión: se calcula el efecto de estas dos acciones conjuntas en el modelo no lineal, suponiendo en primer lugar la acción de la carga vertical, y sobre la situación deformada del viaducto la acción de las fuerzas horizontales de frenado/arranque. Este cálculo se realizará para las posiciones del tren pésimas.
- Efectos de retracción y fluencia: se supondrán nulos en esta situación. Ya que se ha realizado el cálculo para un incremento de temperatura del tablero, la deformación debida a la retracción y fluencia, de sentido contrario, sería favorable.

#### **Situación 2: . Las acciones a considerar son:**

- Decremento de temperatura equivalente del tablero: se calcula como la suma de dos:
  - el debido al máximo descenso de temperatura del tablero anual, partiendo de la hipótesis pesimista de que en el momento de la soldadura del carril el tablero se encuentra a la temperatura más alta del año
  - el decremento de temperatura equivalente a la deformación debida a la retracción y la fluencia; esta deformación deberá calcularse entre el momento de soldadura del carril y tiempo infinito (momento a partir del cual las deformaciones por retracción y fluencia son despreciables).
- Frenado/arranque y flexión: calculados del mismo modo que en la situación 1.

La situación 1 viene a caracterizar el pésimo por incrementos de temperatura en tablero y carril, que se producirá en el primer año desde la soldadura del carril.

La situación 2 viene a caracterizar el pésimo por combinación de los decrementos de temperatura y de la retracción y fluencia, y corresponde a una situación diferida en la que las deformaciones por retracción y fluencia se han desarrollado en su práctica totalidad.

Las envolventes de ambas situaciones darán las envolventes finales de tensiones en carril.

Por su parte, en el caso de existir aparato de dilatación, al considerarse además de las variaciones de temperatura del tablero las del carril, existirán más hipótesis que pueden resultar pésimas. Por ello, será necesario realizar un barrido de posibles combinaciones de variaciones de temperatura de tablero, incluyendo eventualmente las variaciones de temperatura equivalentes a deformación por retracción y fluencia, y variaciones de temperatura de carril, para encontrar dichas hipótesis pésimas.

Fig. 3.

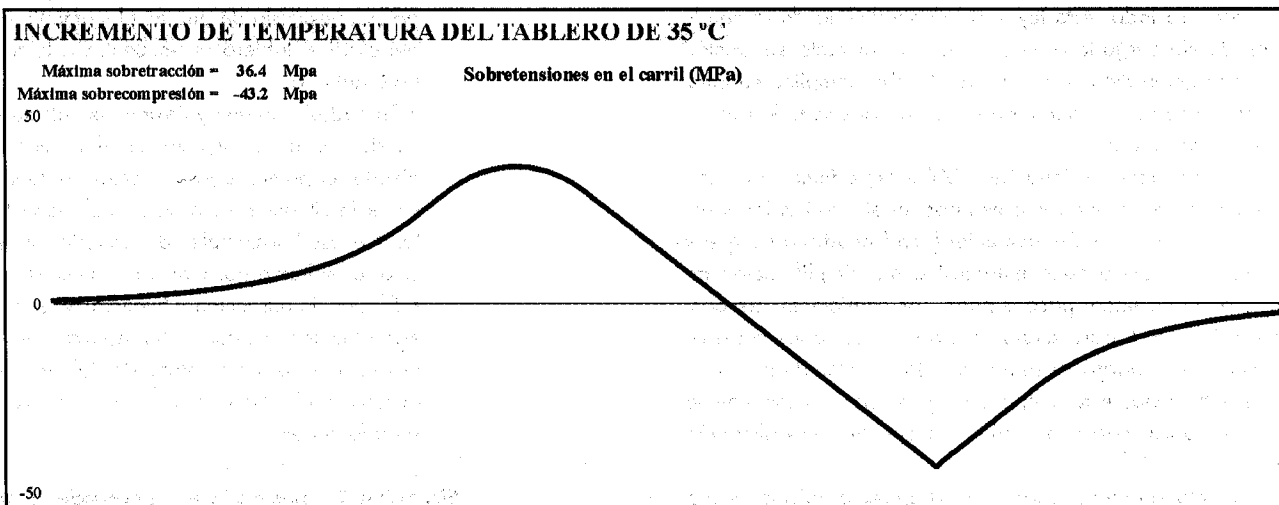
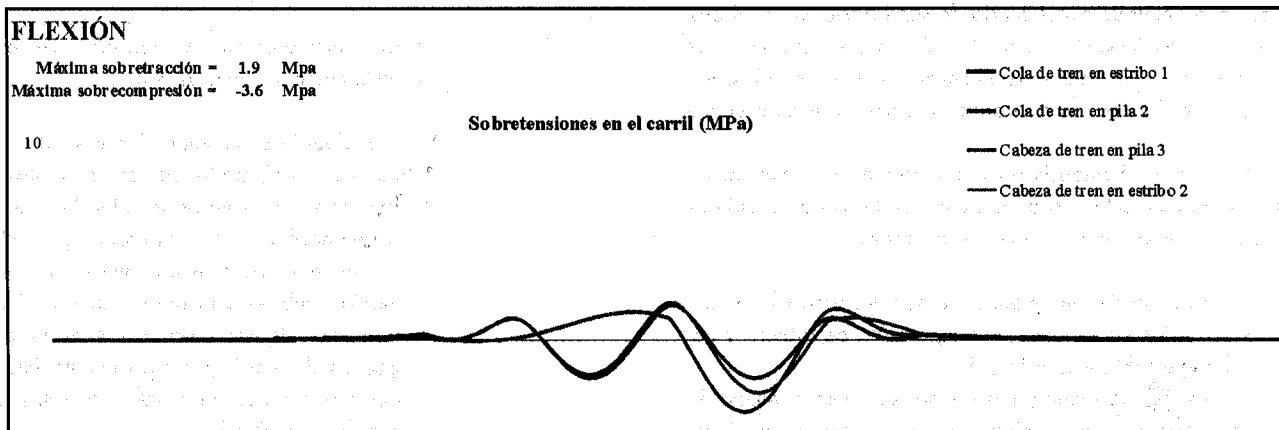


Fig. 4.



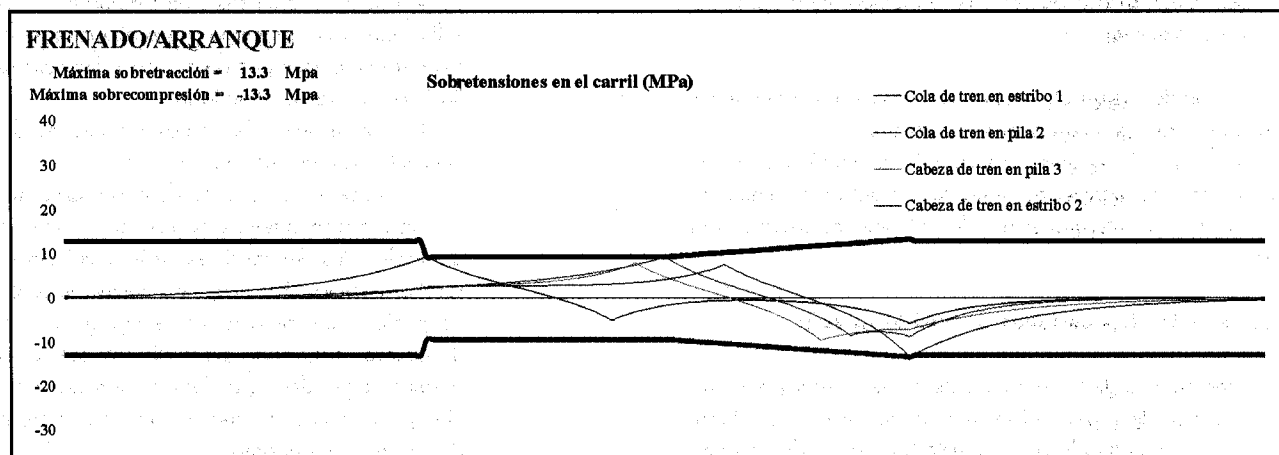
### 3. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

La metodología descrita y el programa MEF adaptado a la resolución numérica del problema de interacción, han sido aplicados al análisis de interacción en viaductos, tanto en fase de proyecto de infraestructura (con el objetivo de

comprobar y eventualmente ajustar el diseño del viaducto) como de proyecto de vía.

Se incluyen a continuación los resultados obtenidos en el estudio de interacción realizado para el viaducto sobre la carretera nacional N-232, estructura nº 13 del tramo Ila, perteneciente a la Línea de Alta Velocidad Madrid-

Fig. 5.



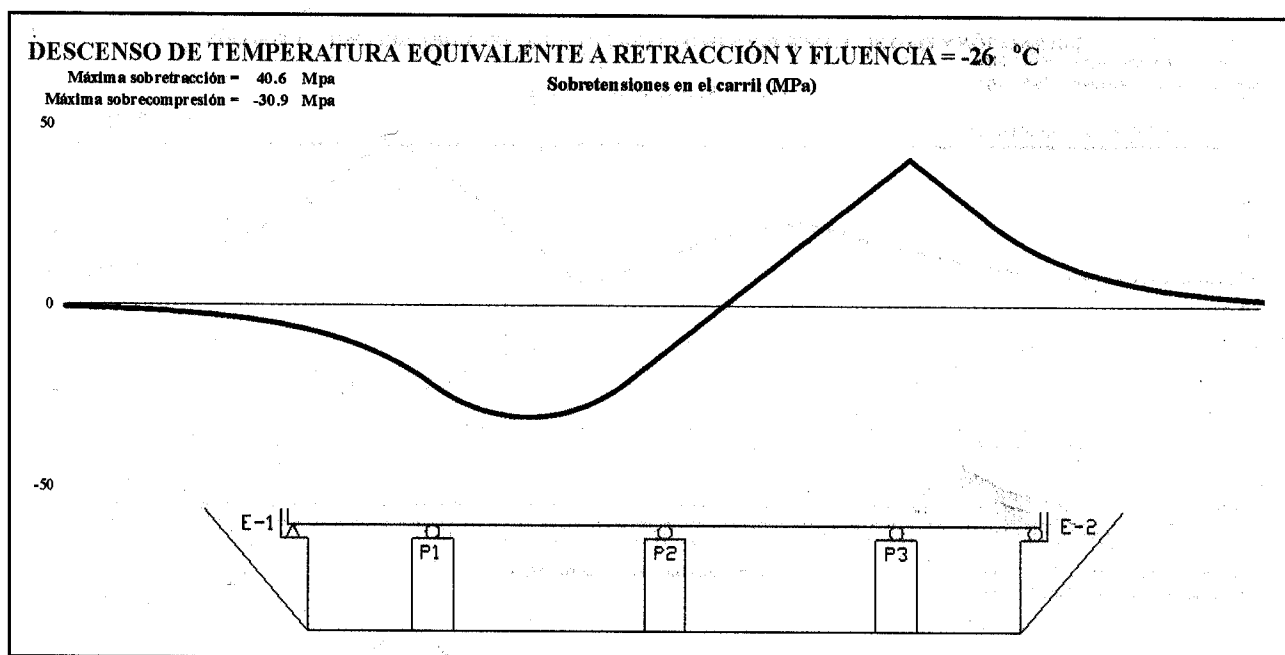


Fig. 6.

Zaragoza-Barcelona-Frontera francesa. Tramo Zaragoza-Lleida.

Se trata de un puente continuo de 4 vanos, de 15,0 y 25,0 m de luz, y una longitud total de 80,0 m. El tablero está formado por vigas prefabricadas pretensadas de hormigón HP-50 en forma de artesa, de 1,40 m de canto, y una losa de hormigón armado HA-30 de 0,30 m de espesor. Todos los apoyos del tablero son de neopreno-teflón, deslizantes. En el E-1 se realiza un anclaje del tablero al estribo mediante tendones de acero postesado.

Las acciones a considerar son:

- variación de temperatura anual máxima del tablero de  $\pm 35^{\circ}\text{C}$  (Fig. 3);

- cargas verticales de tráfico (Fig. 4);
- cargas horizontales de tráfico (frenado/arranque, fig. 5);
- decremento de temperatura equivalente a la deformación por retracción y fluencia del tablero: a partir de la fecha de soldadura prevista estas deformaciones equivalen a un decremento de temperatura del tablero de  $26^{\circ}\text{C}$  (Fig. 6).

Se verifica que bajo la acción conjunta de la variación de temperatura del tablero, frenado/arranque y flexión, las sobretensiones máximas no superan los límites marcados por la Instrucción (Fig. 7).

Sin embargo, si a las envolventes anteriores se suma linealmente el efecto de un decremento de temperatura de

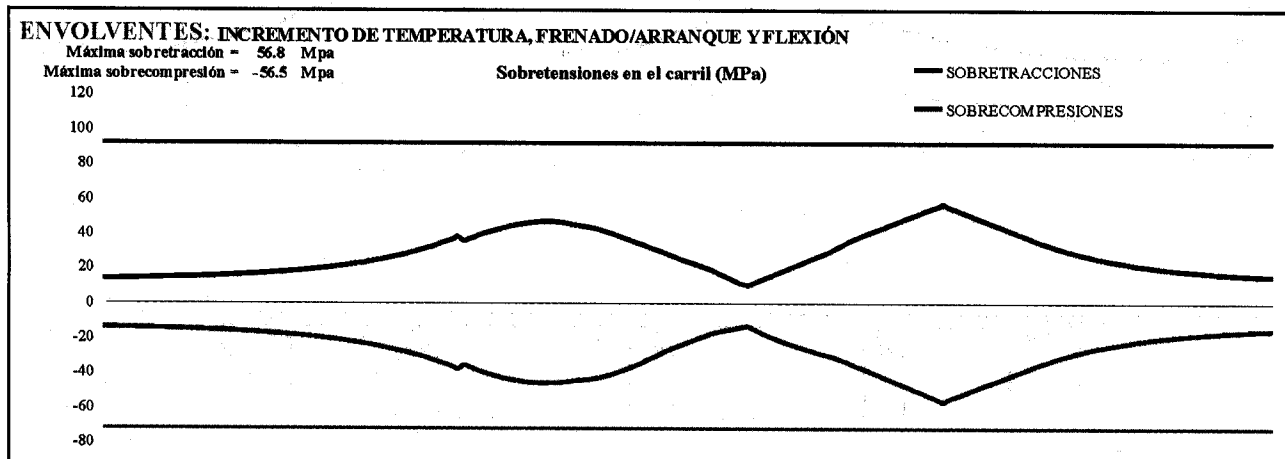


Fig. 7.

Fig. 8.

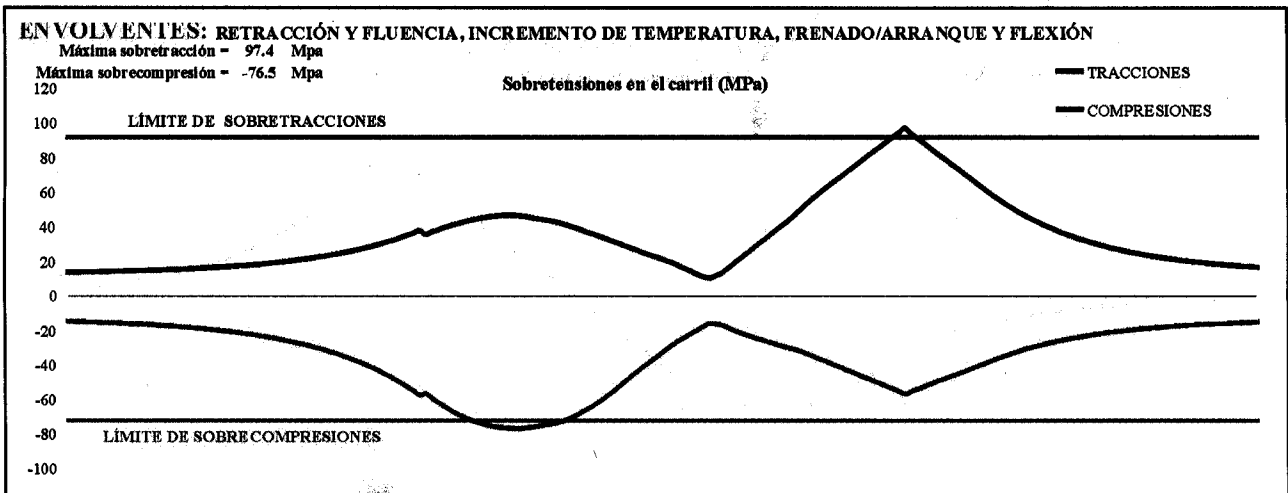


Fig. 9.

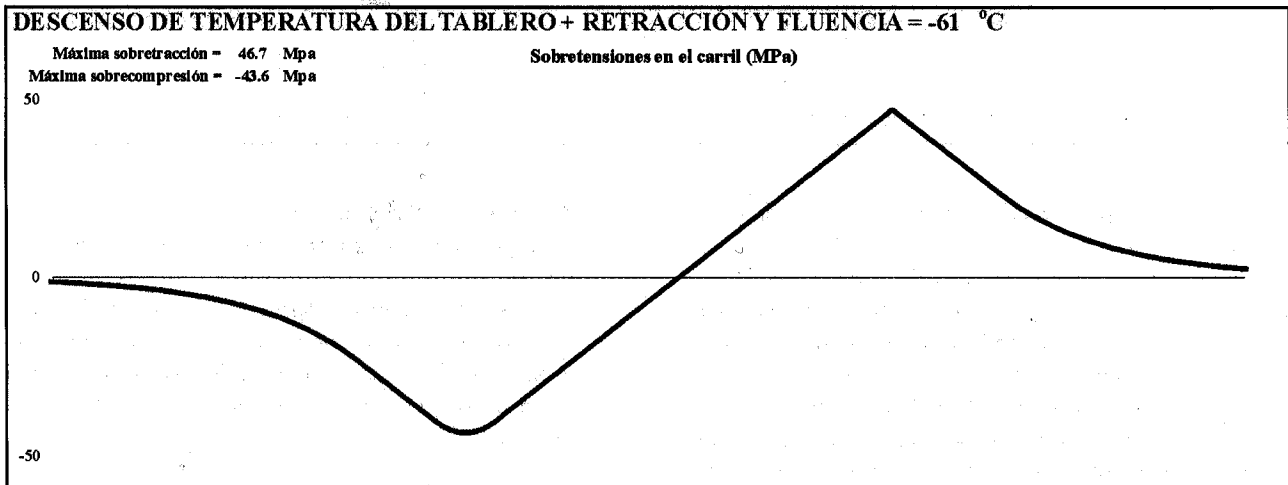
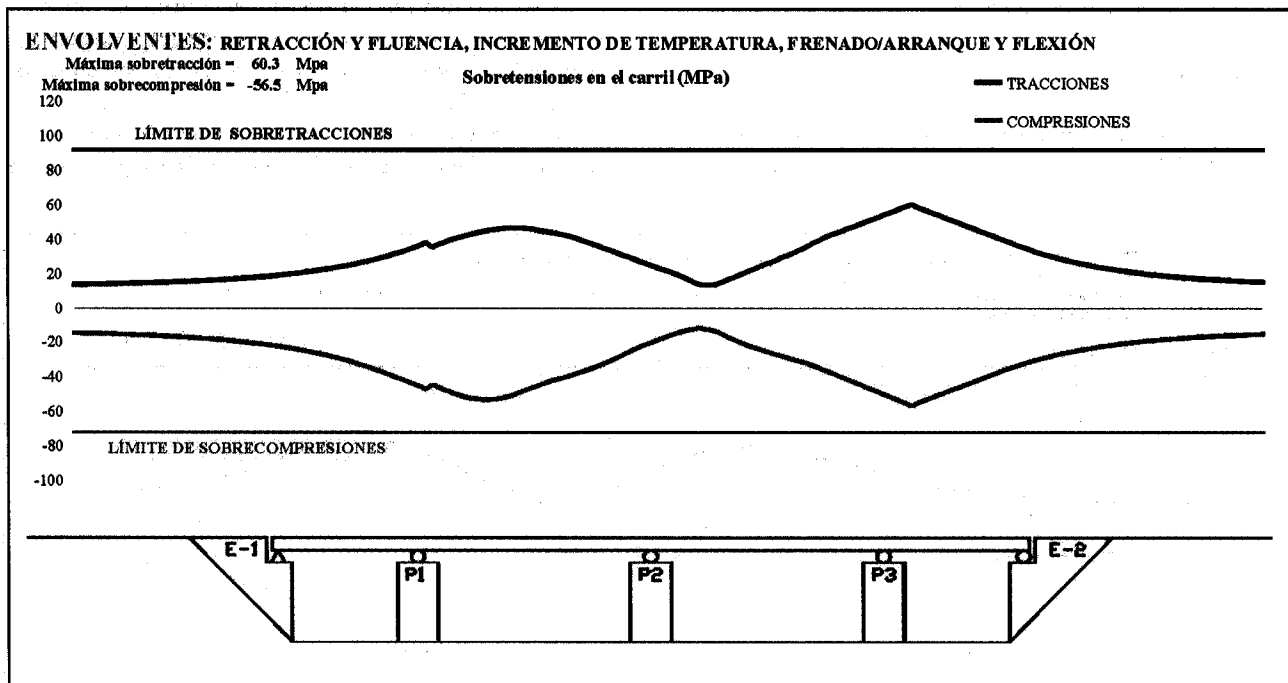


Fig. 10.



26 °C (equivalente a retracción y fluencia), sí se superan los límites de sobretensiones, aunque ligeramente (Fig. 8).

Como se ha indicado esta superposición lineal resulta excesivamente conservadora.

Un cálculo más realista basado en el método mejorado propuesto, consiste en realizar las envolventes de las dos situaciones pésimas:

Situación 1:

- incremento de temperatura anual máximo del tablero de + 35 °C;
- cargas verticales de tráfico;
- cargas horizontales de tráfico (frenado/arranque).

Situación 2:

- decremento de temperatura equivalente al anual máximo del tablero más la deformación por retracción y fluencia:  $-(35+26) \text{ °C} = -61 \text{ °C}$  (Fig. 9);
- cargas verticales de tráfico;
- cargas horizontales de tráfico (frenado/arranque).

Estas envolventes se muestran en la fig. 10, y se observa que con el cálculo basado en el método mejorado no

se superan los límites de sobretensiones en ningún punto del carril.

#### 4. CONCLUSIONES

En referencia al análisis del fenómeno de interacción, la ficha UIC 774-3 [1] recalca que se trata de un análisis de Estado Límite de Servicio de la estructura y de un análisis de Estado Límite Último del carril.

La normativa existente no aclara como combinar las acciones sobre el carril procedentes de las deformaciones del tablero por retracción y fluencia con el resto de acciones (deformaciones térmicas y cargas de tráfico).

Una combinación de acciones, considerando de forma independiente la variación de temperatura por un lado y la retracción y fluencia por otro, conduce a menudo a resultados excesivamente conservadores.

Como alternativa se ha presentado un método mejorado que consiste en realizar una combinación realista de acciones atendiendo a las situaciones pésimas del tablero. ■

#### REFERENCIAS

[1] UNION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER. Febrero 1999: Fiche UIC 774-3R. Interaction voie-ouvrages d'art. Recommandations pour les calculs.

[2] COMISION REDACTORA IAPF. Borrador de Instrucción de acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril.

[3] GONZÁLEZ PEDRO; CUADRADO, MANUEL. Octubre de 2000: Apoyo a la Dirección de los Proyectos de la Línea de alta velocidad entre Córdoba y Málaga. Plataforma. Informe sobre trabajos específicos adicionales: Interacción entre carriles continuos y tableros de viaductos ferroviarios o plataforma. Metodología y criterios de dimensionamiento de aparatos de dilatación de vía.

[4] GONZÁLEZ, P.; CUADRADO, M.; NASARRE, J.; ROMO, E. Revista de Obras Públicas. Febrero 2002. Alta velocidad: fenómeno de interacción vía-tablero en puentes.

[5] GONZÁLEZ, P.; CUADRADO, M.; ROMO, E. IABSE. Congreso puentes de ferrocarril: Proyecto construcción y conservación. Madrid, Junio 2002. Ponencia: Consideración del fenómeno de interacción vía-tablero en el proyecto de puentes ferroviarios.